

## Chladenie so softvérovou podporou

Pavol Cabúk

CADware Liberec; Katedra technológií v elektronike, FEI, TU v Košiciach,

E-mail : cabuk@cadware.cz; pavol.cabuk@tuke.sk

### Anotace:

The complexity of today's production brings the new types of challenges with which constructor usually has no practical experiences. In addition, there is an overlapping of individual professions, so it is often not possible to separate the work of electrotechnical and mechanical professions. Continuous pressure to increase the efficiency and reduce the "Time to Market" forces designers to use the new, unconventional solutions.

Komplexnosť dnešnej produkcie stavia konštruktéra pred nové typy výziev, s ktorými často nemá žiadne praktické skúsenosti. Navyše dochádza k prelinaniu jednotlivých profesií, takže často už ani neje možné oddeliť prácu elektrotechnických a strojárskych profesií. Neustály tlak na zvyšovanie efektivity a skracovanie „Time to Market“ núti návrhárov využívať nové, netradičné postupy.

### ÚVOD

V oblasti elektroniky, od domácej, cez „tabletovú“ až po priemyselnú je asi najhorúcejším problémom odvod stratového tepla. Neustále zvyšovanie výkonu a pokročilá miniaturizácia prinášajú napriek rastúcej efektívnosti komponentov zvyšovanie plošného tepelného výkonu, pričom požadovaná pracovná teplota je spravidla nižšia. Platí to jednak pre pokročilé CPU, kde maximálna pracovná teplota klesá až k 80°C, tak pre LED systémy, kde sa z dôvodu životnosti požadujú teploty pod 60°C, tak pre osobnú elektroniku, kde teplota krytov nesmie prekročiť 40°C a už aj takáto teplota je považovaná za diskomfortnú. Využitie inovatívnych postupov síce prináša možnosť riešiť nové typy výziev vznikajúcich pri konštrukcii v rámci nových konceptov, avšak konštruktéri na všetkých úrovniach návrhového procesu narážajú na nedostatok praktických skúseností v oblasti technicky neprebádaných riešení. Najvypuklejšou komplikáciou je neexistencia návrhových pravidiel (design rules), teda konštruktérovi chýba základné vodítko, ako korektne riešiť dané technické problémy. Navyše je konštruktér často nútený porušovať konvenčné pravidlá, ktoré sú v danej konštrukcii síce prekonané, čím sa vystavuje riziku vzniku „školáckych“ chýb, ktoré nebudú včas odhalené. Dochádza teda k situáciám, keď nový typ problému je elegantne vyriešený, ale celý návrh je nutné opravovať kôli často banálnej chybe..

### CHLADENIE ELEKTRONIKY

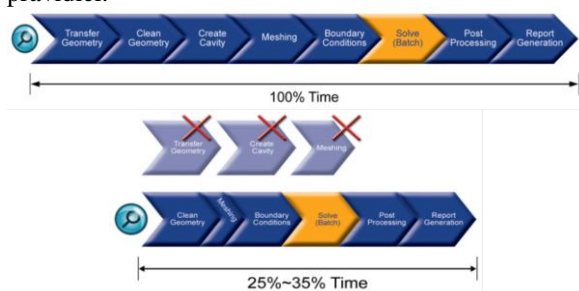
Chladenie elektroniky je vo všeobecnosti náročná úloha, ktorá vo väčšine prípadov zásadným spôsobom ovplyvňuje konštrukciu zariadení. V prípade „skriňových“ alebo stolných systémov je spravidla možné mechanickou konštrukciou uspokojivo vyriešiť odvod tepla, avšak v prípade stiesnených konštrukcií si to často vyžaduje exotické a nákladné

riešenia. V prípade ak je konštrukcia podriadená designu, je často riešenie chladenia na hranici fyzikálnych možností a rozhodujú nie desatiny, ale až stotiny milimetra. V takýchto prípadoch už konštruktér nemôže požiť osvedčené riešenia na báze „citu“, ale musí často improvizovať v jemu neznámej oblasti. Vývoj riešenia je v takomto prípade zdĺhavý a nákladný, keďže každá väčšia zmena sa spravidla preniesie až na začiatok návrhového procesu. „Klasický“ prístup, keď sa simuloval až hotový návrh už nie je efektívne použiteľný. Navyše masívna virtualizácia celého návrhového procesu umožňuje efektívnu simuláciu a prípadné korekcie prakticky v každom kroku. Je výhodné návrh verifikovať a korigovať už od prvých krokov, aby sa minimalizovala potreba nákladných redesignov.

### Simulačné nástroje pre oblasť konštrukcie elektroniky

Aj keď v súčasnosti sú k dispozícii simulačné nástroje prakticky pre všetky riešené úlohy, ich efektívne využívanie je často brzdené príliš konzervatívnym prístupom užívateľov. Tradičné, rokmi overené simulačné nástroje poskytujú veľmi kvalitné výstupy s až absurdnou presnosťou, keď chyba výsledkov simulácií sa ráta v desatinách percenta, pričom rozptyl výroby je v lepšom prípade v jednotkách percent. Reálna presnosť simulácií je pritom ovplyvnená množstvom faktorov, pričom vlastná presnosť výpočtu býva nepodstatná. Oveľa väčší vplyv (podľa pravidla 80/20) má kvalita použitého modelu spravidla daná spôsobom importu a kvalita užívateľa. Z tohto pohľadu majú skutočne pravdu vyznávači tradičného prístupu, keďže práca s komplexným nástrojom vyžaduje skúseného užívateľa, ktorý model spravidla pripraví kvalitne a bez chýb. Naproti tomu bežný technik, ktorý dostal k dispozícii simulačný nástroj dokáže pri príprave modelu spraviť neuveriteľné množstvo prešľapov. Preto je dôležité, aby použitý softvér umožňoval plne automatickú konverziu modelov, v ideálnom prípade,

aby bol plne integrovaný do návrhového prostredia. Prax totiž ukazuje, že najväčším praktickým problémom je práve konverzia modelu, ktorá často neprebehne korektne a simulovaný je potom nesprávny model. Častokrát je pre problémy s konverziou od simulácie upustené úplne. Integráciou simulačného nástroja s návrhovým systémom problémy s konverziou odpadávajú a dochádza k zrýchleniu celého procesu o desiatky percent (Obr. 1). Kvalita simulácií je následkom neskúsenosti, resp. nevyškolenosti obsluhy generálne nižšia, avšak výsledky dávajú dobrú predstavu o realite a umožňujú skoré odhalenie omylov, ktoré nutne vznikajú pri obchádzaní konvenčných návrhových pravidiel.



Obr. 1: Využitie integrovaných simulačných nástrojov prináša signifikantnú úsporu pracovného času

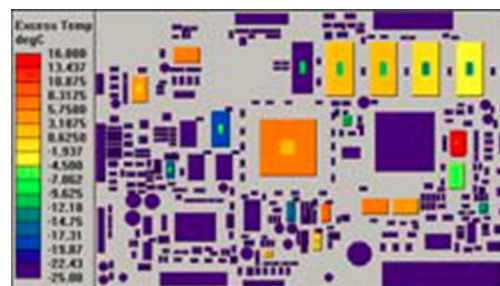
Pre simulácie v oblasti elektroniky sú používané rôzne viac alebo menej rozšírené softvérové nástroje. Najznámejším a všeobecne používaným nástrojom pre obvodové simulácie je SPICE, ktorý sa stal štandardom pre tento typ simulácií, ba možno dokonca povedať, že výlučným simulačným nástrojom, pričom sa líši len používateľské rozhranie. SPICE je ukázkovým príkladom kvalitného nástroja, ktorý v rukách širokej verejnosti poskytuje neoceniteľné služby, aj keď často so zníženou presnosťou. Ďalším stupňom simulácií v elektronike sú podporné simulácie pri návrhu DPS testujúce presluchy, kvalitu napájania, EMC, teplotné pomery a podobne. Špeciálnym typom tejto skupiny sú nástroje pre simulácie čipov, avšak tuto sa jedná o vysokošpecializované procesy, kde je konzervatívny prístup namieste. Posledným stupňom pri návrhu elektronického zariadenia je jeho fyzická realizácia, teda puzdrenie, ktoré je síce doménou strojárskych komunity, avšak v dôsledku zásadne ovplyvňuje funkčnosť zariadenia, preto je nutná úzka medziodborová spolupráca, najmä vo fáze ladenia návrhu.

### Nástroje pre teplotné simulácie

Pre oblasť tepelných simulácií dodáva firma Mentor, A Siemens Business celý rad softvérových nástrojov. Pre oblasť návrhu DPS je to systém HyperLynx, umožňujúci komplexnú simuláciu navrhovanej DPS (Power Integrity, Signal Integrity, EMC, Thermal...), ktorý tvorí z hľadiska spôsobu použitia integrovanú súčasť návrhový systém PADS a Xpedition. Je

samozrejme možný import aj z iných systémov, avšak stráca sa výhoda „One Click“ funkcionality.

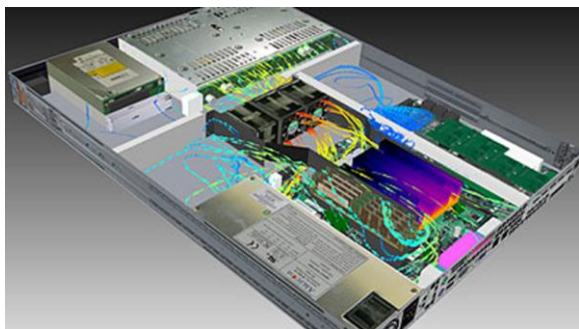
HyperLynx Thermal (Obr. 2) umožňuje užívateľovi získať rýchly prehľad o teplotných pomeroch na navrhovanej DPS. Jeho praktická presnosť je 10% a umožňuje iba statické analýzy, avšak konfigurácia modelu je veľmi rýchla a výsledky sú k dispozícii behom jednotiek minút. Pracuje s pokročilými 2R modelmi komponentov, ktoré dokážu zohľadniť radiačné efekty a prípadný prídavný chladič. Tento je však modelovaný iba ako tepelný odpor. DPS je modelovaná spravidla ako anizotropne teplovodivý materiál, ktorého tepelná vodivosť je daná percentom pokrytia vodivými cestami. V prípade využitia vodivej vrstvy ako chladiacej plochy, je DPS možné modelovať podrobne po vrstvách. HyperLynx Thermal umožňuje modelovať aj viac čipové komponenty, vplyv prúdenia vzduchu, upevňovacích skrutiek a podobne.



Obr. 2: HyperLynx THERMAL poskytuje rámcový prehľad o dôležitých teplotných charakteristikách navrhovanej DPS v reálnom čase.

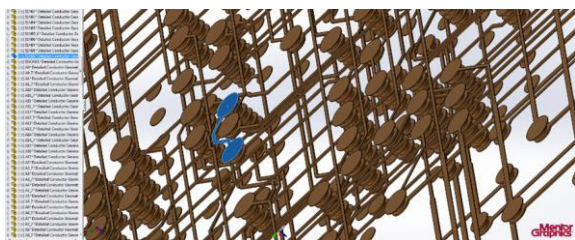
Simulačné nástroje umožňujúce podrobnejšie simulácie už spadajú do skupiny CFD (dynamika prúdenia kvapalín). Je to dané prostým fyzikálnym faktom, že dominantným spôsobom transportu tepelnej energie v pozemských podmienkach je prúdenie vzduchu.

Simulačný nástroj FloTHERM (Obr. 3) bol jedným z prvých reálne využiteľných nástrojov pre simuláciu teplotných pomerov a postupom času sa stal nepísaným etalónom v oblasti tepelných simulácií DPS. Aj keď sa jedná o veľmi kvalitný simulačný softvér, jeho architektúra je poplatná dobe vzniku a dnes je už prežitá. Jeho hlavným nedostatkom je skutočnosť, že pre simulovanú DPS je nutné vytvoriť osobitný model. Samozrejme že v priebehu času vznikli nástroje na automatizovanú tvorbu modelu z podkladov návrhového softvéru, avšak vždy si to vyžaduje minimálne kontrolu, čo celý proces komplikuje a predlžuje. FloTHERM pracuje so špeciálnymi tepelnými modelmi, vďaka čomu dosahuje vynikajúcu presnosť, avšak jeho využitie je ťažkopádne a vyžaduje dobre vyškolenú obsluhu. To na druhej strane zaručuje kvalitné simulácie. FloTHERM obsahuje okrem iného moduly pre generovanie tepelných modelov puzdier IO, ktoré nie sú v internej databáze, či špeciality ako simulácie prechodu DPS reflow procesom.



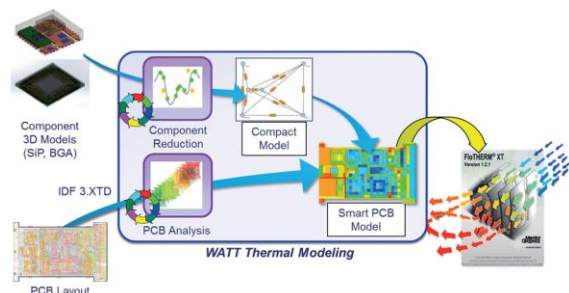
Obr. 3: Simulačný nástroj FloTHERM sa vďaka kvalite výstupov stal uznávaným nástrojom pre tepelné simulácie v oblasti elektroniky.

Ako odpoveď na požiadavku pružnejšieho simulačného nástroja vytvorila firma Mentor, A Siemens Business CFD nástroj FloTHERM XT. Jedná sa o špecializovaný nástroj na simulácie chladenia elektronických systémov, ktorý je plne integrovaný s ECAD a MCAD systémami. Mechanická časť modelu je preberaná priamo programom, ktorý pracuje na platforme SOLIDWORKS, pričom model dosky je importovaný z návrhového systému PADS alebo Xpedition. Import je plne automatický a umožňuje modelovať DPS až na úrovni vodivých ciest (Obr. 4).



Obr. 4: Nástroj FloEDA bridge umožňuje import geometrie DPS až na úrovni vodivých ciest a prepojov.

Zaujímavou funkcionalitou je SmartParts, vďaka ktorej je možné automaticky optimalizovať aj fyzické rozmery chladičov, keďže ich geometria je automaticky generovaná programom. V prostredí FloTHERM XT môže návrhár s využitím funkcionality SMART COMPONENTS (Obr. 5) optimalizovať typ, tvar a presné rozmery chladičov, rovnako ako umiestnenie DPS v kryte, overiť spôsob prúdenia, navrhované ventilátory a pod...



Obr. 5: Technológia SmartParts umožňuje efektívnu optimalizáciu chladiacich komponentov

Z oblasti mechanických analýz je k dispozícii CFD nástroj FloEFD, ktorý umožňuje širokú škálu simulácií v oblasti prúdenia tekutín a transportu tepla vrátane pokročilých radiačných modelov. FloEFD je dodávané ako Plug-In pre MCAD systémy, čo umožňuje simulácie priamo, bez konverzie modelu. FloEFD umožňuje priebežné analýzy vyvíjaného zariadenia, pričom jeho presnosť je nastaviteľná. Teda v počiatočných štádiách návrhu je možné pomerne rýchlo vykonať veľké množstvo simulácií a „What If“ analýz, na základe ich výsledkov určiť smer vývoja a na záver vykonať podrobné a presné simulácie výsledného návrhu. FloEFD nie je nástroj určený primárne pre riešenie problémov s chladením elektronických zariadení, avšak obsahuje moduly pre podporu práce v tejto oblasti. Okrem možnosti importu geometrie DPS z návrhového systému rovnakým nástrojom, ako FloTHERM XT, teda až na úrovni vodivých ciest, umožňuje napríklad modelovať prietok prúdu vodivými materiálmi a s tým spojený vývin tepla. Okrem toho obsahuje kompletné fyzikálne modelovanie prúdenia reálnych kvapalín a plynov, vrátane ich zmesí, obsahu pár kondenzácie, vyparovania a vplyvu na prenos tepla. Prúdenie je možné modelovať až do oblasti hypersonických rýchlostí, vrátane termálnych, ionizačných a disociačných efektov. Program umožňuje modelovanie rotujúcich komponentov, teda užívateľ môže modelovať reálne správanie ventilátorov aj v neštandardných podmienkach. FloEFD umožňuje aj simulácie takých efektov, ako je kondenzácia vodných pár, či vznik námrazy v systémoch s teplotným gradientom, ako napríklad automobilové reflektory (Obr. 6).



Obr. 6: FloEFD je výkonný nástroj umožňujúci komplexné CFD simulácie (kondenzácia, námraza a ich vývoj v čase) zložitých systémov.

Samozrejme merania na prototype žiaden softvér nenahradí, avšak pri správnom využití týchto simulačných nástrojov je možné veľmi presne predikovať výsledky, čo prototypovú fázu prakticky redukuje len na overenie výsledkov simulácií.

## **LITERATURA**

- [1] Mentor, A Siemens Business: What They Didn't Teach You in School about Heat Transfer, WHITEPAPER, [www.mentor.com](http://www.mentor.com)
- [2] Mentor, A Siemens Business: Internal presentations and datsheets